

EP04112182

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 15 DEC 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

103 52 917.9

Anmeldetag:

11. November 2003

Anmelder/Inhaber:

Endress + Hauser Conducta Gesellschaft
für Mess- und Regeltechnik mbH + Co KG,
70839 Gerlingen/DE

Bezeichnung:

Sensoranordnung mit mehreren potentiometrischen
Sensoren

IPC:

G 01 N 27/414

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. November 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Klostermeyer

Sensoranordnung mit mehreren potentiometrischen Sensoren

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensoranordnung zur potentiometrischen
5 Untersuchung einer Vielzahl von Proben, insbesondere mit sogenannten ISFET
oder CHEMFET-Sensoren. Potentiometrische FET-Sensoren der genannten
Art sind zur Messung des PH-Werts oder des Red-Ox-Potentials eines Analyten
geeignet. Das Patent DE 198 57 953 C2 betrifft beispielsweise die Realisierung
eines pH-ISFET-Sensor, bei dem zur Reduzierung des Schaltungsaufwands
10 der ISFET-Sensor als Widerstand in eine Brückenschaltung mit mindestens drei
weiteren Widerständen angeordnet ist. Hinsichtlich der Montage eines FET-
Sensors sind u. a. die folgenden Prinzipien bekannt. Benton offenbart in US-
Patent- Nr. 5,833,824 einen pH-Sensor, bei dem ein ISFET-Chip mittels einer
metallischen Dichtung, welche den ionensensitiven Bereich des ISFET-Chips
15 umgibt an der Unterseite eines Substrats befestigt ist, wobei der ionensensitive
Bereich mit einer Öffnung in dem Substrat fluchtet. Außerhalb des von der
Dichtung umgebenen Bereiches werden Leiterbahnen an der Oberfläche des
Chips zu Kontaktflächen geführt, welche über Löt- oder Schweißverbindungen
mit komplementären Kontaktflächen an der Unterseite des Substrats verbunden
20 sind. Die von Benton vorgeschlagene Lösung ist insofern sehr aufwendig, als
sowohl bei der Herstellung der Dichtung als auch bei der Verwirklichung der
elektrischen Kontaktierung aufwendige Löt- bzw. Schweißverfahren erforderlich
sind. Der in Benton diskutierte Stand der Technik beschreibt ISFET-Sensoren,
bei denen eine gewöhnliche polymerische Dichtung um die Öffnung der
25 Probenkammerwand zwischen dem Substrat und dem ionensensitiven Bereich
des ISFET-Chips angeordnet ist. Die Kontaktierung des ISFET-Chips erfolgt
jedoch nicht zum Substrat im Sinne von Benton, sondern zu einem Träger,
welcher den ISFET-Chip auf der von dem Substrat abgewandten Rückseite
unterstützt. Zu diesem Zweck sind Bonddrähte zwischen Kontaktflächen an der
30 Vorderseite des ISFET-Chips zu Kontaktflächen auf den Träger außerhalb der
Auflagefläche des ISFET-Chips geführt. Auch diese Lösung ist aufwendig, weil
Bondarbeiten zur Kontaktierung des Chips erforderlich sind, und weil zur

Gewährleistung der Funktion und Integrität des Sensors der Chip sowohl bezüglich des Substrats wie auch bezüglich des Trägers in engen Toleranzen ausgerichtet sein muss. Weiterhin sind Lösungen bekannt, bei denen die Chips ihre Kontaktflächen bzw. Bondpads auf der dem ionensensitiv Bereich abgewandten Rückseite aufweisen. Diese Chips können dann rückseitig über einen Träger mit komplementären Kontaktflächen kontaktiert werden, wobei zur Gewährleistung ausreichender galvanischer Kontakte zwischen der Rückseite des Chips und dem Träger ein anisotroper elastischer Leiter, z.B. eine Silikonfolie mit eingebetteten Goldfäden in einer Richtung senkrecht zur Ebene der Folie angeordnet ist. Diese Lösungen sind insofern sehr teuer, da die Führung der elektrischen Anschlüsse durch den Chip von dessen Vorderseite zu dessen Rückseite seine Herstellungskosten um ein vielfaches erhöht.

In der unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10260961.6 der Anmelderin der gegenwärtigen Anmeldung wird eine Sensoranordnung mit einem einzelnen ISFET- bzw. CHEMFET-Sensor mit einer frontseitigen Montage mittels eines anisotropen Leiters offenbart.

Die beschriebenen Sensoranordnungen sind jeweils nur die Untersuchungen einzelner Proben möglich. Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Sensoranordnung für potentiometrische Messungen bereitzustellen, die einerseits minimalen Probenvolumina messen und andererseits mehrere Proben gleichzeitig untersuchen kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Sensoranordnung gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 1.

Die erfindungsgemäße Sensoranordnung umfaßt mindestens zwei Probenkammern; mindestens zwei potentiometrische FET-Sensoren, insbesondere IsFET-Sensoren oder ChemFET-sensoren mit einem sensitiven Oberflächenabschnitt, wobei der sensitive Oberflächenabschnitt jeweils mit einer der Probenkammern in Fließverbindung steht; eine Referenzzelle mit

einem Referenzmedium zur Bereitstellung eines Referenzpotentials, wobei die Probenkammern mit dem Referenzmedium über eine Elektrolytbrücke verbunden sind.

- 5 Die Sensoranordnung ist gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung modular aufgebaut, d. h. die Probenkammern sind in einem ersten Modul angeordnet und die potentiometrischen FET-Sensoren in einem zweiten Modul.

- 10 Das erste Modul kann beispielsweise einen plattenförmigen Grundkörper aufweisen, der Bohrungen aufweist, welche als Probenkammer dienen. Im Falle von durchgehenden Bohrungen können die potentiometrischen FET-Sensoren in ein zweites Modul integriert sein, welches die Bohrungen von der Unterseite des Grundkörpers als Bodenelement verschließt. Für jede Probenkammer kann ein separates Bodenelement vorgesehen sein, oder es können mehrere
15 Probenkammern mit einem gemeinsamen Bodenelement verschlossen werden.

- Die Elektrolytbrücke kann über Elektrolytkanäle erfolgen. In einem derzeit bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Grundkörper die Elektrolytkanäle auf. Der Grundkörper kann einstückig sein oder aus mehreren Elementen bzw.
20 mehreren Schichten zusammengesetzt sein. Im letzteren Fall empfiehlt es sich, daß die Elektrolytkanäle in der Grenzfläche zwischen zwei Schichten angeordnet sind.

- In einer weiteren Ausgestaltung sind die Elektrolytkanäle in das zweite Modul, insbesondere das Bodenelement, integriert.
25

- Die Referenzzelle kann ebenfalls einen potentiometrischen FET-Sensor zur Bereitstellung eines Referenzpotentials aufweisen, wobei das Referenzpotential U_{diffref} gegen das Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode gemessen werden kann. Die Potentialableitelektrode kommuniziert ebenfalls
30 mit dem Referenzmedium in der Referenzzelle. Die Potentialableitelektrode

kann beispielsweise einen metallischen Kontakt mit einer Silber- bzw. Silberchloridbeschichtung umfassen.

Die Potentiale U_{diff1} , U_{diff2} , ... U_{diffN} der N FET-Sensoren in den Probenkammern werden vorzugsweise gegen das Pseudoreferenzpotential gemessen. Die messgrößenrelevante Potentialdifferenz, beispielsweise U_{ph1} , wird durch Differenzbildung zwischen dem jeweiligen Potential und dem Referenzpotential ermittelt $U_{ph1} = U_{diff1} - U_{diffref}$. Die Differenzbildung kann analog oder digital erfolgen.

10

Die FET-Sensoren, welche beispielsweise als vereinzelte Chips oder als eine Vielzahl von Sensorelementen in einem ggf. monolithischen Bodenelement vorliegen können, müssen zur Realisierung eines Sensors in der Weise angeordnet sein, daß sie einerseits mit den bisweilen korrosiven Proben beaufschlagt werden können, ohne daß andererseits korrosionsempfindliche Komponenten, z.B. Leiterbahnen, mit den Medien in Kontakt kommen. Hierzu werden in einer Ausgestaltung der Erfindung FET-Sensoren in der Weise angeordnet, daß die ionensensitiven Oberflächenbereiche der FET-Sensoren mit Bohrungen der Probenkammern fluchten, wobei zwischen dem Grundkörper und den FET-Sensoren eine ringförmige Dichtung angeordnet ist, welche die Bohrungen umgibt, so daß der ionensensitive Bereich des Halbleiterchips mit der Probe beaufschlagt werden kann, ohne daß die Probe mit dem FET-Sensor außerhalb des von der Dichtung eingeschlossenen Bereichs in Berührung kommt. Für die elektrische Kontaktierung der FET-Sensoren sind verschiedene Ausgestaltungen möglich.

20

25

Derzeit wird das Konstruktionsprinzip der bereits in der Einleitung erwähnten deutschen Patentanmeldung No. 10260961.6 bevorzugt. Demnach weisen die FET-Sensoren an der dem Grundkörper zugewandten Oberfläche erste Kontaktflächen auf, die mit passenden zweiten Kontaktflächen auf der dem FET-Sensor zugewandten Unterseite des Grundkörpers fluchten. Die Unterseite des Grundkörpers weist Leiterbahnen auf, über welche die zweiten

30

Kontaktflächen mit geeigneten Schaltungen zur Speisung der FET-Sensoren elektrisch verbunden sind. Zwischen der Unterseite des Grundkörpers und der Oberfläche des FET-Sensors wird eine elastische Schicht bzw. Folie angeordnet, die senkrecht zur Oberfläche des FET-Sensors zumindest abschnittsweise anisotrop leitend ist, wobei die elastische Schicht eine Öffnung aufweist, die mit der Bohrung fluchtet. Die elastische Folie bzw. Schicht dient somit einerseits als Dichtung und andererseits zur elektrischen Kontaktierung.

Vorzugsweise umfaßt die elastische isolierende Schicht oder Folie in dem anisotrop leitfähigen Bereich eingebettete leitfähige Partikel, Körner oder Fäden, insbesondere metallische Partikel oder Fäden. Besonders bevorzugt sind derzeit Goldfäden, die sich senkrecht zur Ebene der elastischen organischen Schicht erstrecken. Besonders bevorzugt sind derzeit Silikonschichten, die Goldfäden aufweisen und kommerziell von der Firma Shin-Etsu erhältlich sind.

Sofern die elastische Schicht metallische Körner aufweist, so sind diese in einer relaxierten Schicht in einer solchen Konzentration gleich verteilt, daß es nicht zu einer ausreichenden Zahl von elektrischen Kontakten zwischen den Körnern kommt, um eine elektrische Leitfähigkeit über große Distanzen herzustellen. Wird jedoch die elastische Schicht in einer Richtung komprimiert, beispielsweise durch Einspannung als Dichtelement, zwischen dem ersten Modul und dem zweiten Modul bzw. dem Grundkörper und dem Bodenelement, so entsteht in der Kompressionsrichtung eine ausreichende Zahl von elektrischen Kontakten, um die Leitfähigkeit entlang der Kompressionsrichtung zu gewährleisten. Unabhängig von der gewählten Art des Dichtelements können die FET-Sensoren bzw. das Bodenelement durch eine rückseitige Abstützung gegen die elastische Schicht gepresst werden, um die Dichtungswirkung der elastischen Schicht zu optimieren. Die rückseitige Abstützung kann sowohl steif als auch elastisch vorgespannt sein. Die elastische Vorspannung, z. B. mit einer Schraubfeder, ist insoweit vorteilhaft, als dadurch die Effekte von unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten

sicherer ausgeglichen werden können, als wenn dies ausschließlich durch die Elastizität des Dichtungselements erfolgen müsste. Dies ist insbesondere dann beachtlich, wenn ein gewisser Kompressionsgrad des Dichtungselementes erforderlich ist, um die elektrische Leitfähigkeit durch die Dichtung zu gewährleisten.

Die anderen bekannten Kontaktierungsarten des FET-Sensors, beispielsweise gemäß Benton oder gemäß des in Benton diskutierten Stands der Technik sind ebenfalls zur Realisierung der vorliegenden Erfindung geeignet, wobei bei einer Kontaktierung gemäß Benton der Nachteil in Kauf zu nehmen ist, daß eine feste Verbindung zwischen dem FET-Sensor und dem Grundkörper erfolgt, wodurch die Modularität beeinträchtigt wird.

Die Erfindung wird nun anhand eines in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des Funktionsprinzips einer Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung;

20

Fig. 2a: eine Aufsicht auf die Unterseite eines Grundkörpers für eine Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung

Fig. 2b: ein Dichtelement für eine Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 2c: einen Längsschnitt durch eine Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung.

30

Fig. 1 zeigt schematisch das Funktionsprinzip der erfindungsgemäßen Sensoranordnung. Die FET-Sensoren 10 der Sensoranordnung weisen jeweils

- eine sensitive Gate-Region auf, welche mit einem Analyten in einer Probenkammer beaufschlagbar ist. Die einzelnen Probenkammern der Sensoranordnung sind über eine Elektrolytbrücke miteinander verbunden. Hierzu umfaßt die Elektrolytbrücke einen Elektrolytkanal 11 der über
5 Diaphragmen mit den Probenkammern kommuniziert. Die Sensoranordnung umfaßt weiterhin eine Referenzkammer, in der eine Referenzelektrode 13, beispielsweise aus Platin, und ein Referenz-FET 12 angeordnet ist. Der Referenz-FET gibt ein Pseudoreferenzpotential U_{diffref} aus, gegen welches die Potentiale U_{diff1} , U_{diff2} , ... U_{diffN} der N FET-Sensoren in den Probenkammern
10 gemessen werden. Die messgrößenrelevante Potentialdifferenz, beispielsweise U_{ph1} , wird durch Differenzbildung zwischen dem jeweiligen Potential und dem Referenzpotential ermittelt $U_{\text{ph1}} = U_{\text{diff1}} - U_{\text{diffref}}$. Die Differenzbildung kann analog oder digital erfolgen.
- 15 Konstruktive Einzelheiten eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Sensoranordnung werden nun anhand der Fign. 2a, 2b und 2c erläutert.

Fig. 2a zeigt die Unterseite eines Substrats 6 mit vier Probenkammern 9 für eine erfindungsgemäße Sensoranordnung, wobei auf der Unterseite jeweils
20 Kontaktflächen 7 und 8 beabstandet zu den Öffnungen der Probenkammern angeordnet sind. Die Kontaktflächen 7 und 8 sind jeweils über Leiterbahnen in geeigneter Weise mit den erforderlichen Anschlüssen verbunden. Bei der fertig montierten Sensoranordnung dienen die Öffnungen dazu, die Sensoren mit der zu analysierenden Probe zu beaufschlagen.

25

Fig. 2b zeigt eine Aufsicht auf ein Dichtelement für eine Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei das Dichtelement bei dieser Ausführungsform eine Silikonschicht umfaßt, in welche durchgehende Goldfäden eingebracht sind, die sich im wesentlichen senkrecht zur Ebene des
30 Dichtelements 5 erstrecken. Auf diese Weise ist das Dichtelement in der Ebene des Dichtelements elektrisch isolierend und senkrecht zur Ebene des Dichtelements leitend. Somit können miteinander fluchtende elektrische

Kontaktflächen, welche durch die Dichtung voneinander getrennt sind, miteinander in elektrischen Kontakt gebracht werden, während bezüglich der Ebene des Dichtungselements lateral versetzte Kontaktflächen voneinander elektrisch isoliert sind.

5

Die erforderliche Mindestgröße von fluchtenden Kontaktflächen zur Gewährleistung eines sicheren Kontakts ist eine Frage der mittleren Anzahl von Goldfäden pro Flächeneinheit des Dichtelements. Dieser Parameter kann vom Fachmann in geeigneter Weise angepasst werden. Gleichmaßen ist der mittlere laterale Abstand von Bauelementen zur Gewährleistung einer zuverlässigen Isolation eine Funktion der Anzahldichte der Goldfäden sowie von deren Orientierung und deren Durchmesser. Derzeit wird ein Dichtungselement bevorzugt, welches eine zuverlässige Kontaktierung bei fluchtenden Kontaktflächen von bereits weniger als 1 mm^2 ermöglicht und eine ausreichende Isolation bei einem lateralen Abstand von etwa 0,5 mm gewährleistet.

Die äußeren Abmessungen des Dichtelements in Fig. 2b sind bei dieser Ausführungsform kongruent mit den äußeren Abmessungen der Unterseite des Substrats in Fig. 2a, wobei dies nicht zwingend erforderlich ist. Das Dichtelement weist zudem für jede Probenkammer im Substrat und ggf. zusätzlich für eine Referenzkammer Öffnungen auf, welche mit den entsprechenden Öffnungen im Substrat fluchten. Es ist zweckmäßig, wenn die Öffnungen im Dichtelement etwa die gleiche Größe wie die Öffnungen in der Unterseite des Substrats 6 aufweisen. Auf diese Weise werden Totvolumina zwischen dem Substrat und einem als Bodenelement dienenden Halbleiterchip bzw. zwischen dem Dichtelement und dem Bodenelement oder dem Substrat vermieden.

Fig. 2c zeigt schließlich ein Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Sensoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei das Dichtelement 5 zwischen dem Halbleiterchip 1 und dem Substrat 6 eingespannt ist.

Der Halbleiterchip 1 weist in seiner dem Substrat 6 zugewandten Oberfläche ionensensitive Bereiche 2 auf, welcher mit den Öffnungen im Substrat 6 fluchten. Beabstandet zu den Öffnungen sind jeweils Kontaktflächen 3 und 4
5 angeordnet, welche jeweils mit den komplementären Kontaktflächen 7, 8 auf der Unterseite des Substrats fluchten. Die Kontaktierung zwischen den chipseitigen Kontaktflächen 3, 4 und den substratseitigen Kontaktflächen 7, 8 wird durch die Leitfähigkeit des Dichtelements 5 senkrecht zu dessen Ebene gewährleistet.

10

Um eine hinreichende Dichtungswirkung zu erzielen, muss der Halbleiterchip 1 mit ausreichender Kraft gegen die Unterseite des Substrats 6 gedrückt werden. Dies kann einerseits durch eine Einspannung mit formstabilen Bauelementen erfolgen und andererseits durch eine Vorspannung mittels elastischer Elemente
15 wie einer Schraubfeder, die hier jedoch nicht dargestellt ist.

20

Das Substrat 6 kann einstückig mit einem Gehäuse eines Halbleitersensors ausgebildet sein oder als separates Bauteil, welches in geeigneter Weise in ein Gehäuse einzusetzen ist. Diese und ähnliche Ausgestaltungen ergeben sich für
den Fachmann in nahe liegender Weise, ohne vom Gegenstand der Erfindung abzuweichen, die in den nachfolgenden Patentansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

1. Sensoranordnung, umfassend:

5 mindestens zwei Probenkammern;

mindestens zwei potentiometrische FET-Sensoren, insbesondere IsFET-Sensoren oder ChemFET-sensoren, mit jeweils einem sensitiven Oberflächenabschnitt, wobei der sensitive Oberflächenabschnitt jeweils mit einer der Probenkammern in Fließverbindung steht; und

10

eine Referenzzelle mit einem Referenzmedium zur Bereitstellung eines Referenzpotentials, wobei die Probenkammern mit dem Referenzmedium über eine Elektrolytbrücke verbunden sind.

15

2. Sensoranordnung nach Anspruch 1, wobei die Sensoranordnung ein erstes Modul umfaßt, welches die Probenkammern aufweist.

20 **3. Sensoranordnung nach Anspruch 2, wobei die Sensoranordnung mindestens ein zweites Modul umfaßt, welches mehrere potentiometrischen FET-Sensoren aufweist.**

4. Sensoranordnung nach Anspruch 2, wobei die Sensoranordnung
25 **mindestens mehrere zweite Modul umfaßt, welche jeweils einen potentiometrischen FET-Sensor aufweisen.**

5. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 2 - 4, wobei das erste
30 **Modul einen plattenförmigen Grundkörper mit Bohrungen aufweist, welche als Probenkammer dienen.**

- 5
6. Sensoranordnung nach Anspruch 5, wobei die Bohrungen durchgehend sind, und wobei das mindestens eine zweite Modul bzw. die zweiten Module als Bodenelement gestaltet sind, welche die durchgehenden Bohrungen von der Unterseite des ersten Moduls verschließen.
7. Sensoranordnung nach Anspruch 5, wobei die potentiometrischen FET-Sensoren derart in das zweite Modul integriert sind, daß jeweils ein FET-Sensor mit einer der durchgehenden Bohrungen fluchtet.
- 10 8. Sensoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Elektrolytbrücke über Elektrolytkanäle verläuft, welche in dem Grundkörper ausgebildet sind.
- 15 9. Sensoranordnung nach Anspruch 8, wobei der Grundkörper mehrere Elemente, insbesondere mehrere Schichten aufweist, und die Elektrolytkanäle in einer Grenzfläche zwischen zwei benachbarten Elementen angeordnet sind.
- 20 10. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Elektrolytbrücke über Elektrolytkanäle verläuft, welche in dem zweiten Modul, integriert sind.
- 25 11. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Referenzzelle einen potentiometrischen Referenz-FET-Sensor zur Bereitstellung eines Referenzpotentials aufweist, welches gegen das Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode erfaßt wird.
- 30 12. Sensoranordnung nach Anspruch 11, wobei die Potentialableitelektrode mit dem Referenzmedium in der Referenzzelle beaufschlagt ist.
13. Sensoranordnung nach Anspruch 12, wobei die Potentiale $U_{\text{diff}1}$, $U_{\text{diff}2}$, ... $U_{\text{diff}N}$ von N FET-Sensoren in den Probenkammern gegen das

Pseudoreferenzpotential ermittelt, und die messgrößenrelevanten Potentialdifferenzen, jeweils durch Differenzbildung zwischen dem jeweiligen Potential und dem Referenzpotential bestimmt $U_{ph1...N} = U_{diff1...N} - U_{diffref.}$ werden.

Zusammenfassung

Die erfindungsgemäße Sensoranordnung, umfasst mindestens zwei Probenkammern; mindestens zwei potentiometrische FET-Sensoren, insbesondere IsFET-Sensoren oder ChemFET-sensoren, mit jeweils einem sensitiven Oberflächenabschnitt, wobei der sensitive Oberflächenabschnitt jeweils mit einer der Probenkammern in Fließverbindung steht; und eine Referenzzelle mit einem Referenzmedium zur Bereitstellung eines Referenzpotentials, wobei die Probenkammern mit dem Referenzmedium über eine Elektrolytbrücke verbunden sind. Die Referenzzelle weist vorzugsweise einen potentiometrischen Referenz-FET-Sensor zur Bereitstellung eines Referenzpotentials auf, welches gegen das Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode erfaßt wird. Die Potentiale U_{diff1} , U_{diff2} , ... U_{diffN} von N FET-Sensoren in den Probenkammern werden gegen das Pseudoreferenzpotential ermittelt, und die messgrößenrelevanten Potentialdifferenzen, werden jeweils durch Differenzbildung zwischen dem jeweiligen Potential und dem Referenzpotential $U_{ph1...N} = U_{diff1...N} - U_{diffref}$ bestimmt.

(Fig. 1)

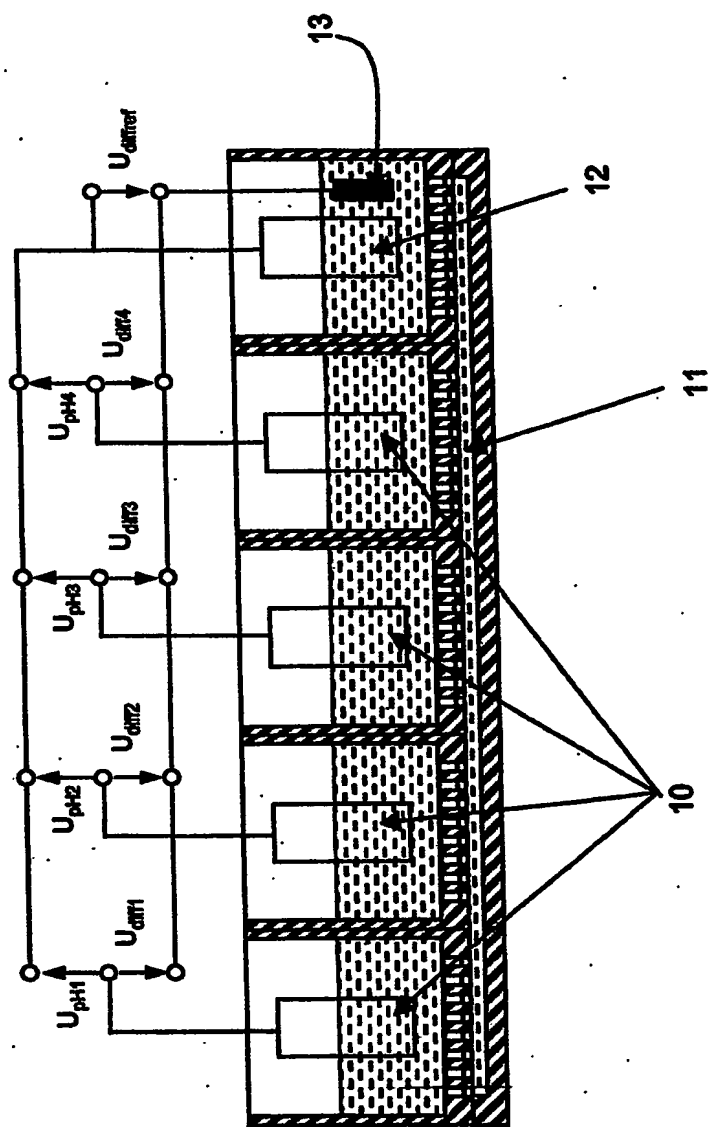


Fig. 1

Fig. 2a

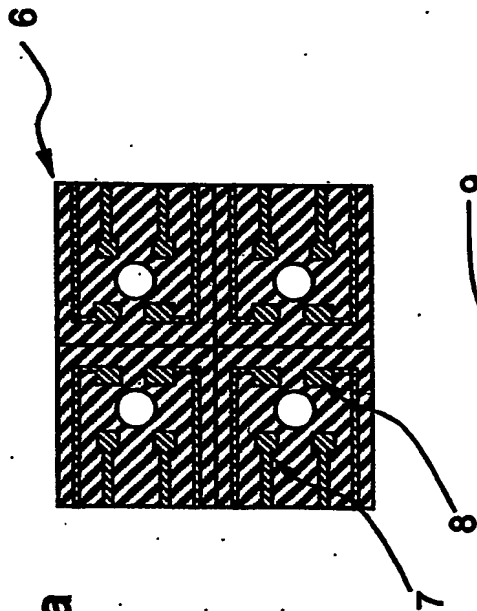


Fig. 2b

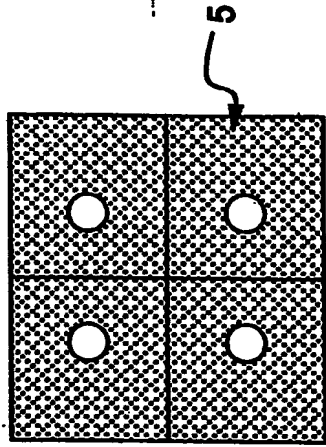
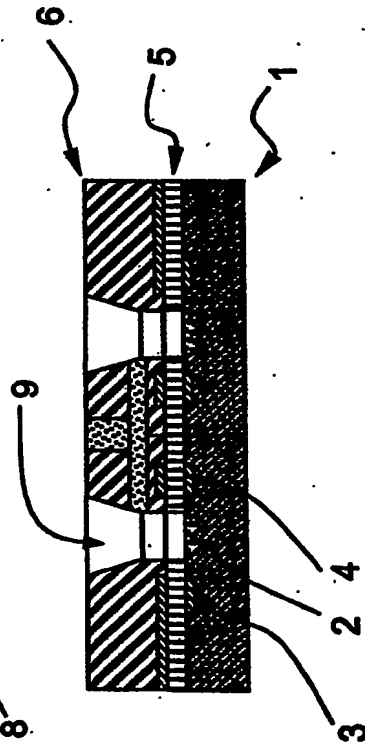


Fig. 2c



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.